4.5 RENDIMIENTO (PERFORMANCE).

Se denomina rendimiento (performance) al conjunto de capacidades ofrecidas por un avión de acuerdo con el objetivo primordial para el cual ha sido diseñado.
Aunque este conjunto de capacidades varía de un avión a otro según el objetivo de operación para el cual se haya diseñado (carga, transporte, deportivo, etc...) e incluso dentro de la misma línea de operación (p.ejemplo transporte a corta o larga distancia), existen una serie de factores que afectan de forma general al rendimiento de cualquier aeroplano, con independencia de su diseño y objetivo de operación. Este capítulo trata de estos factores, enfocándolos específicamente a su incidencia en aviones ligeros con motor de pistón.

Antes de nada, es primordial conocer con certeza en que categoría ha sido certificado el aeroplano (Normal, Utility, Acrobatic). Nunca debemos pretender obtener del aparato un comportamiento y unas capacidades para el cual no ha sido preparado. En el manual de operación de cada avión se especifican las limitaciones según su certificación (P.ejemplo: Normal Category - All acrobatic maenuvers including spins prohibited).

4.5.1 Efecto de la densidad.

La densidad del aire, es quizá el factor simple más importante que afecta al rendimiento del avión, pues influye en la sustentación, la resistencia, el rendimiento del motor y la eficiencia de la hélice. Volviendo al capítulo 1.1, recordemos que cuanto mayor es la temperatura menor es la densidad; que a menor presión menor densidad, y que a mayor altura le corresponde una menor densidad.

Sobre la sustentación y la resistencia. La densidad (**d**) es un factor que interviene en las fórmulas tanto de la sustentación como de la resistencia (ver 1.3). De ambas, se infiere fácilmente que a mayor densidad mayor sustentación, mayor resistencia, y viceversa. Conclusión: cuanto mayor sea la altura de vuelo menor será la densidad y por tanto menor la sustentación y la resistencia al avance.

Sobre el motor y la hélice. El motor produce potencia en función del peso del aire que entra en los cilindros. Para un mismo régimen, el volumen de aire que entra es el mismo, pero el peso varía con la densidad: a mayor densidad mayor peso y viceversa. Esta variación de la densidad tiene dos efectos: por un lado el rendimiento del motor es menor cuanto menor sea la densidad, pero por otro, la cantidad de combustible a mezclar debe ser menor para mantener la proporción adecuada de la mezcla (Ver 3.7). Estos efectos no tienen incidencia en motores turboalimentados.
En cuanto a la hélice, esta produce empuje o tracción en función de la masa de aire acelerada por las palas de la misma. Está claro que la hélice es menos eficiente con una densidad baja del aire que con una densidad alta. A la vista de los efectos anteriormente mencionados, podemos concluir que:

- Más temperatura, menos presión, más altura suponen menos densidad.
  Menor densidad --> menor rendimiento.
- Menos temperatura, más presión, menos altura implican mayor densidad.
  Mayor densidad --> mayor rendimiento.

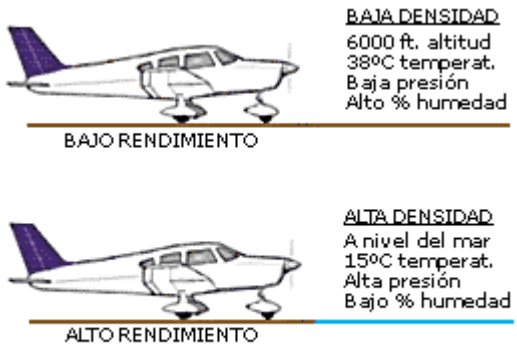

Fig.4.5.1 - Rendimiento según la densidad.

Una vez que conocemos los efectos que la variación de la densidad tiene sobre el rendimiento del avión, se nos pueden ocurrir varias preguntas: ¿hay algún indicador o instrumento a bordo que nos diga la densidad? ¿si no lo hay cómo se calcula? ¿cómo se deduce el rendimiento del avión a partir de una densidad dada?.
Vamos con las respuestas. No hay indicador o instrumento a bordo que indique *directamente* la densidad, pero los manuales de operación suelen incluir unas tablas tabuladas, en las cuales se obtiene la densidad en base a la temperatura y la presión (fig.4.5.1). Pero además, en general no es necesario conocer *explícitamente* la densidad, pues los manuales de operación incluyen una serie de tablas de rendimiento, especificas para ese aeroplano, en función de la *temperatura* y la *presión* de altitud. En definitiva, conociendo la altitud de presión y la temperatura exterior, basta con consultar la tabla tabulada correspondiente para conocer el rendimiento esperado del aeroplano.
Hay que tener en cuenta que la información dada por el fabricante en las tablas de rendimiento, se obtiene mediante pruebas de vuelo efectuadas en condiciones normales de operación, hechas por pilotos con una notable experiencia y con el aeroplano en buenas condiciones. Es prudente pues, contar con un rendimiento ligeramente inferior y prever un ligero margen de seguridad.

4.5.2 Altitud de presión y de densidad.

En algunos libros y manuales, cuando se habla de rendimiento se suele recurrir a dos conceptos que en ocasiones producen confusión en los alumnos pilotos: altitud de presión y altitud de densidad (ver 2.3.6).
En condiciones estándar, a cada altitud concreta le corresponde una presión determinada; si ponemos ambos valores en dos columnas, podemos determinar la altitud a partir de la presión y viceversa. Este es el principio de funcionamiento del altímetro. Lo mismo sucede con la densidad; en condiciones estándar a cada altitud le corresponde una densidad y viceversa; de ahí el nombre altitud de densidad. En esta relación biunívoca, la altitud de presión por tanto, no es ni más ni menos que la altitud que corresponde a una presión concreta en condiciones estándar, y esa misma altitud corregida por las desviaciones de temperatura respecto a la estándar recibe el nombre de altitud de densidad.

La altitud de densidad NO es un nivel de vuelo, es una "condición", por lo que es importante recordar que la altitud *indicada* por el altímetro, calado habitualmente con el QNH o el QNE, es siempre nuestra referencia de altura en lo que respecta al vuelo. No nos confundamos, hay distintas denominaciones para distintos conceptos de altitud, debemos conocerlas, comprender su significado y para que sirven, pero nuestra referencia sobre la altura de vuelo del avión es la indicada por el altímetro. Resumiendo: el nivel de vuelo viene dado por el altímetro (altitud de presión) y la altitud de densidad se utiliza para determinar el rendimiento del avión.

El objetivo de una tabla consiste en mostrar el resultado de una consulta basada en valores conocidos. Y aunque no tenemos a bordo instrumentos que midan la densidad, tenemos uno que indica la presión (altímetro) traducida en altura y otro que mide la temperatura (OAT - Outside Air Temperature). Lo más lógico por tanto es construir las tablas en base a valores de presión traducidos en altura, y valores de temperatura, teniendo como referencia la atmósfera estándar.

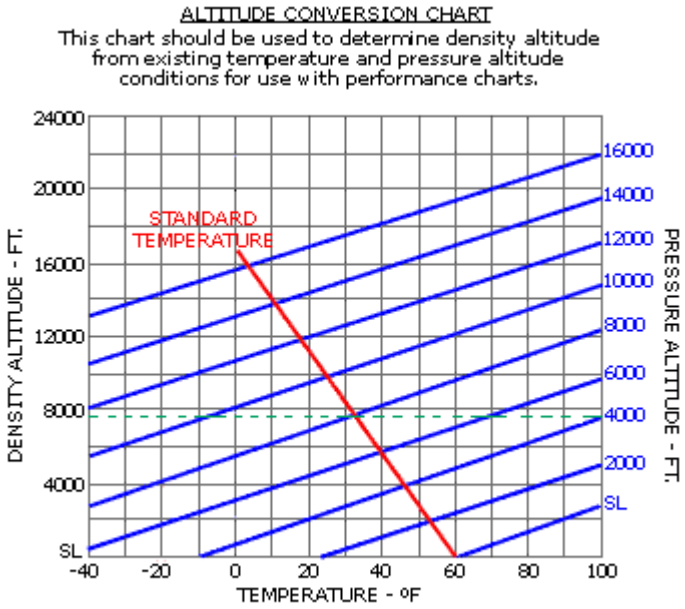

Fig.4.5.2 - Gráfico de conversión de altitud.

En la fig.4.5.2 se muestra un gráfico de conversión de altitud de presión a altitud de densidad. Si por ejemplo nos encontramos en un aeródromo con una altitud de presión que corresponda a 4000 pies (p.ejemplo pudiera ser Robledillo de Mohernando - Guadalajara) y la temperatura exterior es de 38ºC, que equivale a 100ºF, nuestra altitud de densidad es de cerca de 8000 pies, o sea que el rendimiento del avión es como si despegáramos de un aeródromo situado a casi 8000 pies. La intersección de la línea azul de 4000 pies de altitud de presión, con la línea vertical de 100ºF, casi toca la línea horizontal correspondiente a 8000 pies de altitud de densidad (línea verde discontínua).

4.5.3 Otros factores.

Humedad. Debido a la evaporación, la atmósfera siempre contiene alguna parte de moléculas de agua en forma de vapor, las cuales ocupan el lugar de las moléculas de aire seco. Debido a la menor densidad del vapor de agua respecto al aire seco, un determinado volumen de aire húmedo pesa menos (es menos denso) que el mismo volumen de aire seco. Aunque en las tablas de rendimiento para aviones ligeros no suele considerarse la humedad, conviene tener en cuenta que con un alto porcentaje de humedad en la atmósfera el rendimiento del avión disminuye.

Viento. El efecto del viento en superficie tiene, en cierto sentido, un efecto contrario al mismo viento durante el vuelo. En el despegue o aterrizaje el viento en cara es positivo: hace mas corta la carrera de despegue o aterrizaje; incrementa el ángulo de ascenso y la senda de descenso; posibilita una mejor liberación de obstáculos; etc... Por el contrario, el viento en cola para estas dos operaciones es negativo; salvo casos de fuerza mayor, nunca debe realizarse un despegue o aterrizaje con viento en cola.
Sin embargo, en vuelo de crucero el viento en cara incrementa la resistencia al avance y por tanto el consumo de combustible, mientras que el viento en cola incrementa la velocidad respecto al suelo permitiéndonos llegar antes a nuestro destino. Para un mismo gasto de combustible el radio de acción con el viento en cara es menor que con el viento en cola.

Estado de la pista. En las operaciones de despegue y aterrizaje, el estado de la pista y su gradiente (cuesta arriba o cuesta abajo) puede tener una gran influencia. Una pista de hierba, tierra o grava, mojada, etc.. produce mayor resistencia al movimiento del avión que una pista asfaltada y seca. Esto implica una carrera de despegue más larga y por tanto la necesidad de una mayor longitud de pista para despegar.
Naturalmente, una pista cuesta arriba alarga la carrera de despegue y acorta la de aterrizaje. De la misma manera una pista cuesta abajo acorta la carrera de despegue y alarga la de aterrizaje.

Peso. Ya sabemos, por capítulos anteriores, que el peso y su distribución tienen unos límites que no se pueden sobrepasar si queremos volar sin riesgos. Pero aun estando el peso y el c.g. dentro de estos límites, es obvio que para levantar y mantener en vuelo un peso mayor se necesita mayor rendimiento del avión que con menos peso. En algunos casos extremos, aeródromo a mucha altitud en un día con temperatura y humedad muy altas, puede suceder que el peso suponga un handicap tal que no sea posible el despegue.

Del análisis de las explicaciones anteriores, pudiera extraerse la conclusión incorrecta de que un piloto debe estar comprobando continuamente el rendimiento del avión, según las tablas, para comprobar si puede o no realizar una determinada maniobra. Esto no es exactamente así. Un piloto juicioso y sensato, es decir un buen piloto, conoce lo que puede y no puede esperar del avión, y en condiciones normales no necesita echar mano de las tablas. Pero ese mismo piloto, reconoce cuando las condiciones son desfavorables y antes de correr un riesgo, aunque sea mínimo, consulta con las tablas, sobre todo en la maniobra que puede volverse más critica con un bajo rendimiento del avión: el despegue y ascenso posterior. Por su seguridad, sea prudente a la hora de valorar su capacitación como piloto y el rendimiento del avión cuando decide salir a volar, máxime cuando se dan una o más combinaciones de factores desfavorables.

4.5.4 Uso de tablas de rendimiento.

Seguidamente se describen una serie de tablas, cartas o gráficos de rendimiento, entendiéndose claramente que las mismas son para familiarizar al lector con su uso y estudio, insisto: NO SON PARA USO OPERACIONAL.

Los manuales de operación suelen contener tablas de rendimiento de casi todo: longitudes de pista necesarias para el despegue, para el aterrizaje, tasas de ascenso, velocidad de pérdida s/ángulo de alabeo, consumos y distancias recorridas en función del viento y la potencia aplicada, distancias de planeo, vuelo con la mejor economía de combustible, etc... Estas tablas pueden tener dos formatos: un tabulado de columnas sencillo, en el cual basta con buscar un dato en una o más columnas y encontrar su correspondencia, o un formato gráfico con una serie de líneas, cuyas intersecciones muestran valores computados.

TAKEOFF DISTANCE - FLAPS RETRACTED - HARD SURFACE RUNWAY										
GROSS WIGHT LBS.	IAS 50 FT. MPH	HEAD WIND KNOTS	AT SEA LEVEL 15ºC		AT 2500 FT. 10ºC		AT 5000 FT. 5ºC		AT 7500 FT. 0ºC	
			GROUND RUN	TOTAL TO CLEAR 50 FT. OBST.	GROUND RUN	TOTAL TO CLEAR 50 FT. OBST.	GROUND RUN	TOTAL TO CLEAR 50 FT. OBST.	GROUND RUN	TOTAL TO CLEAR 50 FT. OBST.
1620	70	0	730	1385	910	1650	1135	1985	1360	2440
		10	500	1035	630	1250	780	1510	975	1875
		20	300	730	390	890	510	1090	640	1375
Increase the distances 10% por each 15ºC increase the temperatura above standard for the particular altitude. For operation on a grass runway increase the distance 7%										

Fig.4.5.3 - Tabla de rendimiento en despegue.

En la fig.4.5.3 tenemos un ejemplo de tabla tabulada sencilla, en este caso de distancia de despegue, la cual se explica casi por si misma. En la cabecera se indica que la maniobra es con flaps retraídos y se realiza sobre una superficie dura y nivelada. Aunque por sencillez solo se incluye una línea para un peso de 1620 libras, lo normal es que haya varias filas con distintos pesos. También, los manuales de vuelo suelen incluir estas tablas con distintas grados de extensión de flaps.
En la segunda columna se indica que en caso de obstáculos, la velocidad al salvar los mismos se asume que es de 70 mph. Dependiendo de la velocidad del viento en cara (head wind knots) y de la altitud y temperatura (p.ejemplo: at sea level 15ºC) obtenemos la distancia necesaria para despegar (ground run) o para despegar y además salvar un obstáculo estándar de 50 pies (total to clear 50 ft.obs.).
Una nota al pié de la tabla, indica que las distancias se incrementan en un 10% por cada 15ºC de temperatura por encima de la estándar para esa altitud, y en un 7% si la pista es de hierba.

Este tipo de tablas tabuladas tienen una pequeña pega: se necesitan realizar cálculos de interpolación en el caso habitual de que los parámetros (peso, velocidad del viento, altitud, etc...) tengan valores intermedios a los dados en la tabla.

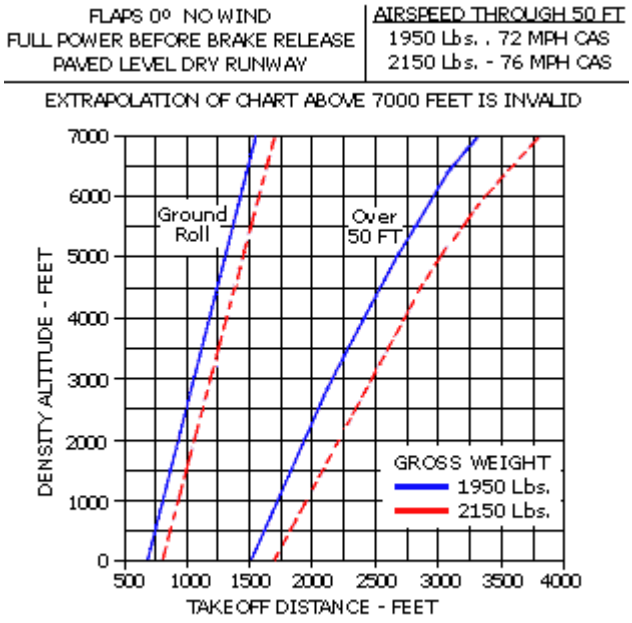

Fig.4.5.4 - Gráfico de rendimiento en despegue.

En la fig.4.5.4 tenemos otra tabla similar a la anterior pero en forma de gráfico. De nuevo, se nos indican las distancias de despegue, con los flaps retraídos (0º), sin viento, aplicando toda la potencia antes de soltar los frenos, sobre una pista seca, dura y nivelada. También se supone que en caso de salvar obstáculos, estos se liberan manteniendo una velocidad que depende del peso del avión.
En la parte izquierda del gráfico se encuentran las curvas de distancia para carrera de despegue, y en la parte derecha para despegue y además salvado de obstáculos. Basta con mirar la intersección de la altitud de densidad con la curva correspondiente para, bajando por la línea vertical, obtener la distancia necesaria.
Por ejemplo: el avión al cual corresponde el gráfico, en las condiciones especificadas en el mismo, con un peso no mayor de 1950 libras necesita 1000 pies de pista para despegar de un aeródromo con una altitud de densidad de 2500 pies.

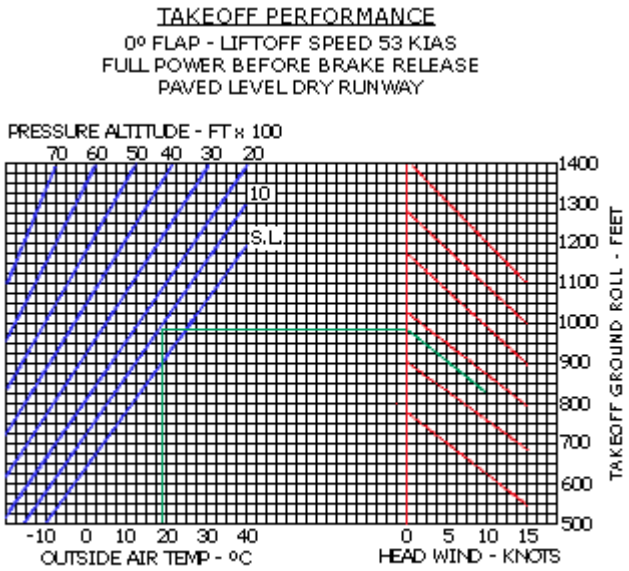

Fig.4.5.5 - Gráfico de rendimiento en despegue.

Por ultimo, la fig.4.5.5 nos muestra un gráfico de despegue más completo pero ligeramente más complejo de interpretar. Las líneas azules representan altitudes de presión en pies. Pues bien, desde la intersección de la presión de altitud y la temperatura exterior, se sigue la horizontal hasta la línea de referencia de viento (vertical roja) y desde aquí la transversal hasta la intersección con la velocidad del viento en cara. Esta última intersección coincidirá con una horizontal que marca la distancia en pies. La línea del ejemplo (verde) muestra que con una temperatura exterior de 18ºC, en un aeropuerto con una altitud de presión de 1000 pies y un viento en cara de 10 nudos, la distancia requerida para la carrera de despegue es de 840 pies.

Sumario:

- Rendimiento (performance) es el conjunto de capacidades ofrecidas por un avión conforme al objetivo para el cual ha sido diseñado.
- En ningún caso se debe pretender del aeroplano unos comportamientos y capacidades distintas de su certificación (Normal, Utility, Acrobatic).
- La densidad del aire es el factor simple más importante que afecta al rendimiento del avión.
- El factor densidad influye en la sustentación, la resistencia, el rendimiento del motor y la eficiencia de la hélice.
- La densidad es inversamente proporcional a la temperatura y directamente proporcional a la presión.
- La densidad decrece con la altura.
- A mayor densidad mayor rendimiento y viceversa.
- Altitud de presión es la altitud que corresponde a una presión determinada, en condiciones estándar.
- Altitud de densidad es la altitud de presión corregida por las desviaciones de temperatura respecto a la estándar.
- Otros factores que afectan al rendimiento de la aeronave son: la humedad relativa, la velocidad y sentido del viento, el estado y el gradiente de la pista, y el peso.
- Los manuales de vuelo suelen incluir unas tablas de rendimiento para prácticamente todas las operaciones: despegue, ascenso, crucero, menor consumo de combustible, aterrizaje, mayor radio de acción, etc...
- Estas tablas pueden ser en formato tabulado o bien gráficos con valores precalculados.

- La ventaja de los gráficos sobre las tablas tabuladas es que no necesitan de interpolación para valores intermedios.

© M.A.Muñoz Mar/2001